

Як видно з графіка, із збільшенням швидкості руху рейкового транспортного засобу, внаслідок підвищення температури в зоні контакту, модуль пружності спочатку знижується досить інтенсивно, а при швидкості 18–20 м/с – крива виполажується, тому що температура в зоні контакту стабілізується.

**Висновок.** При взаємодії тіл з рухомою точкою контакту необхідно враховувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів, які відрізняються від властивостей матеріалу, розташованого на значній відстані від його поверхні. Ця різниця з'являється в результаті хімічних і структурних перетворень, механічного та теплового впливу, зносу і контактної втоми матеріалів поверхонь фрикційної пари колесо–рейка.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Голубенко, А.Л. Сцепление колеса с рельсом / А.Л. Голубенко – 2-е изд. доп. и пер. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1999. – 476 с.
2. Костюкевич, А.И. Экспериментальное исследование коэффициента трения при качении со скольжением / А.И. Костюкевич // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2011. – № 4(158). – ч.1. – С. 14–19.
3. Вериги, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериги, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
4. Франчук, В.П. Взаємодія тіл з рухомою точкою контакту / В.П. Франчук, К.А. Зіборов. – Дніпро: НГУ, 2017. – 96 с. – Режим доступу: <http://www.nmu.org.ua>.
5. Крагельский, И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 276 с.
6. Беляев, Н. М. Соппротивление материалов. / Н.М. Беляев. // Глав. ред. физ-мат. лит.: «Наука», 1976. – 608 с.
7. Минов Д. К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. – М.: Транспорт, 1965. – 266 с.
8. Зіборов, К.А. Властивості фрикційної пари колесо–рейка, які впливають на процес передачі руху тертям / К.А. Зіборов, Г.К. Ванжа // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2011. – № 4(25). – С. 226–233.

УДК 621.822

## ІНЖИНІРИНГ ОПОРИ КОВЗАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ПРЕСА РЕВОЛЬВЕРНОГО ТИПУ

К.А. Зіборов<sup>1</sup>, Т.О. Письменкова<sup>2</sup>, М. Цонда<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [ziborov.k.a@nmu.one](mailto:ziborov.k.a@nmu.one)

<sup>2</sup>кандидат педагогічних наук, доцент кафедри конструювання технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: [pismenkova.t.o@nmu.one](mailto:pismenkova.t.o@nmu.one)

<sup>3</sup>студент групи 132м-19-2, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

**Анотація.** Проведено аналіз умов експлуатації ланок механічної частини приводу преса револьверного типу, що відрізняються високим зносом в важких режимах роботи. Було визначено показники якості виробу і етапів технологічного процесу його отримання; обрано метод визначення показників якості, запропоновані засоби вимірювання, що забезпечують задану точність.

*Ключові слова:* прес револьверного типу, опора ковзання, інженерно-технічна діяльність, показники якості виробу.

## ENGINEERING OF CRANKSHAFT SUSPENSION SUPPORT OF REVOLVER TYPE

K.A. Ziborov<sup>1</sup>, T.O. Pismenkova<sup>2</sup>, M. Tsonda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Head of Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [ziborov.k.a@nmu.one](mailto:ziborov.k.a@nmu.one)

<sup>2</sup>Ph.D., Associate Professor of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: [pismenkova.t.o@nmu.one](mailto:pismenkova.t.o@nmu.one)

<sup>3</sup> student of group 132m-19-2, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** The operation conditions of the mechanical part of the revolver type press are distinguished, characterized by high wear in heavy modes of operation. The quality of the product and the stages of the technological process of its production were determined; the method of determination of quality indicators is chosen, the offered measuring instruments that provide the given accuracy.

*Keywords:* revolver type press, sliding bearing, engineering activity, product quality indicators.

**Вступ.** Інженерія – сфера технічної діяльності, що включає в себе цілий ряд спеціалізованих областей та дисциплін, і яка спрямована на практичне застосування і використання наукових, економічних, соціальних і практичних знань з метою звернення природних ресурсів на користь людини.

Цілі інженерної діяльності – винахід, розробка, створення, впровадження, модернізація, ремонт і обслуговування техніки, матеріалів або процесів.

Сучасне розуміння інженерної справи охоплює три види інженерно-технічної діяльності:

- дослідницька (науково-технічна) діяльність;
- конструкторська (проектна) діяльність;

➤ *технологічна (виробнича) діяльність.*

У сучасній економічній системі інженерно-технічна діяльність здійснюється на різних етапах життєвого циклу продукції. Тому важливо при створенні (модернізації) продуктів інженерно-технічної діяльності виконувати аналіз умов роботи (кінематичні, силові характеристики), обґрунтовано вибирати матеріали вузлів і деталей, прогнозувати економічну ефективність технічних рішень.

Інформаційні технології в інженерно-технічній діяльності дозволяють істотно скоротити терміни проектування. Різні види САПР (CAD, CAE, CAM, CAPP і т.і.), скорочуючи витрати і трудомісткість проектування, підвищують його якість.

**Мета роботи** – виконати інжиніринг опори ковзання колінчастого валу пресу револьверного типу з дослідженням параметрів матеріалу шатунного вкладиша сучасними засобами САПР.

**Матеріали дослідження.**

**Аналітична задача.** Силікатна цегла – це недорогий рядовий будівельний матеріал і собівартість його виготовлення повинна бути мінімальною. Застосування дорогого устаткування для випуску рядових силікатних виробів часто не виправдане, тому багато заводів в даний час проводять модернізацію в рамках прийнятних бюджетів. Силікатну цеглу формують з сировинної суміші на пресах.

Прес револьверний призначений для формування силікатної цегли, яка виготовляється зі зволоженої суміші піску та вапна. Прес відноситься до кривошипно-важильного типу машин з періодичним обертанням столу. Повний цикл роботи пресу здійснюється за один оберт колінчастого валу.

Колінчастий вал приводного пристрою преса (рис. 1, а) встановлений на підшипниках ковзання. Підшипник ковзання є парою обертання. Він складається з опорної ділянки вала і вкладиша (рис. 1, б), встановленого на ньому з зазором, заповненим мастильним матеріалом.



Рисунок 1 – Колінчастий вал приводного пристрою пресу

Робота револьверного преса припускає великі і різко імпульсні навантаження на кінематичні вузли механізму перетворення руху, характерні для

роботи поршневого елемента. Виходячи з цього та враховуючи можливість забруднення і недоліків змащування при роботі, для підшипникового матеріалу лімітуючими факторами є: опір схоплювання (матеріал вкладиша не повинен зчіплюватися з шипом), міцність на стискання, опір на втому, деформованість (властивість пристосовуватися до перекосів, властивість включати сторонні частинки, особливо абразивні), коефіцієнт сухого і напіврідкого тертя, корозійна стійкість, структура матеріалу, теплопровідність, собівартість.

З огляду на вищевикладене, необхідно вирішити такі завдання: виявити особливості роботи опорних вузлів револьверних пресів; розробити 3D модель підшипника ковзання та процесу силового навантаження розглянутих підшипників; провести теоретичні дослідження, встановити вплив різних чинників на експлуатаційні характеристики і визначити оптимальні конструктивні параметри підшипників; провести інженерний і кінцевоелементний розрахунки, що дозволяють проводити різноманітні обчислення з будь-якими геометричними параметрами підшипників і при будь-якому напрямку зовнішнього навантаження.

**Конструкторсько-технологічна задача.** Надійність і ресурс кінематичного механізму перетворення руху багато в чому визначає міжремонтний ресурс преса і витрати на його ремонт. Збільшення міжремонтного ресурсу підшипників ковзання, а також використання більш економічних антифрикційних матеріалів істотно знижує експлуатаційні витрати і собівартість виробленої продукції або послуги, що виконуватиметься за допомогою машин і механізмів подібного типу.

Привод цього преса містить: асинхронний короткозамкнений двигун 4А200М4У3 ( $N=37$  кВт,  $n_{\text{об}}=1500$  об/хв); клинопасову передачу; редуктор Ц2У-250 із передаточним числом  $U_p=8,25$ ; відкриту зубчасту передачу з модулем  $m=20$  мм (шестерню  $Z_1=16$  та колесо  $Z_2=65$ ).

Визначимо параметри приводу та пресу (у відповідності до кінематичної схеми): передавальне число пасової передачі, передавальне число відкритої зубчастої передачі, загальне передавальне число приводу пресу, крутний момент на колінчастому валу приводу, радіальне навантаження на підшипнику. При відомому значенні загального передавального числа приводу преса визначимо, відповідно, частоту і кутову швидкість обертання колінчастого вала.

Основними причинами руйнування підшипників ковзання, як сказано вище, є знос і заїдання, тому основні розрахунки зводяться до усунення цих причин. Для цього визначимо середній тиск на поверхні підшипника, який мав би перевищувати певні норми, щоб не було видавлювання мастила,

швидкого спрацювання антифрикційного шару і нагрівання підшипника і цапфи колінчастого валу [1-3].

Обчислення реакцій підшипників колінчастого вала навіть при малій кількості кривошипів представляє трудомістку роботу. Причина полягає не тільки в статичній невизначеності вала, а й в тому, що навантаження змінюється в часі не тільки за величиною, а й у напрямку, і, крім того, жорсткість вала в різних його положеннях є різною. Графічний спосіб вирішення за допомогою коефіцієнтів Максвелла відомий по роботі [4].

Так як однією з умов сприятливого режиму роботи підшипникового вузла є необхідність забезпечення відповідного режиму тертя, важливо знати швидкість  $V_1$ , при якій починається перехід від граничного тертя до напіврідинного. Її можна визначити з формули Фогельполя:

$$V_1 = \frac{R}{10^7 c \mu V}, \quad (1)$$

де  $V = \frac{\pi d^2 l}{4}$  – робочий об'єм підшипника,  $\text{м}^3$ ;  $\mu$  – динамічна в'язкість мастила,  $\text{Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ ;  $c$  – постійний коефіцієнт, який призначається за рекомендаціями довідкової літератури [3]. Для бронзового матеріалу вкладиша  $c = 2 \dots 3$ .

Замінивши у формулі Фогельполя  $p = \frac{R}{l \cdot d}$ , отримаємо:

$$V_1 = \frac{p}{1,5 \cdot 10^8 c \mu} \quad (2)$$

Використовуючи параметри масла И20А (ГОСТ 17479.4-87) для передбачуваної температури роботи  $t = 50^\circ \text{C}$  і його динамічної в'язкості  $\mu = 0,015 \div 0,021 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , що застосовується для змащення підшипникового вузла, визначимо величину швидкості  $V_1 = \frac{4,41 \times 10^6}{1,5 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 30} = 4,9 \times 10^{-2} \text{ м} / \text{с}$ .

Окружна швидкість обертання колінчастого валу приводу револьверного преса при заданих параметрах в сталому режимі руху  $V_{KB} = \frac{\omega_{KB} \times d}{2} = \frac{2,75 \times 0,18}{2} = 0,2475 \text{ м} / \text{с}$ .

Величина зазору в підшипнику впливає на несучу здатність мастильного шару, а тим самим і на вантажопідйомність підшипника, яка тим більше, чим менше цей зазор. Тому чим більше середній питомий тиск в підшипнику і чим менше швидкість цапфи, тим меншим приймається зазор в підшипнику. Навпаки, при малих тисках і великих швидкостях потрібно приймати більший зазор в підшипнику (його величина залежить і від в'язкості масла), оскільки в підшипнику з малим зазором цапфа працює в нестійкому режимі, відбувається надмірний нагрів, а в гіршому випадку – стирання ненавантаженої частини підшипника. При відсутності інформації про величину діаметрального зазору можна скористатися рекомендаціями [2,



3]. Для малого числа обертів  $n_{KB} = 26,3 \text{ об/хв}$  і при відносно великих питомих тисках  $p = 4,41 \text{ МПа}$  отримаємо наступні рекомендації:  $\delta = (1,5 \div 6,5)d \cdot 7 \times 10^{-3}$ .

Для подальшого проведення дослідження працездатності підшипників ковзання колінчастого вала преса револьверного типу складемо 3-D модель колінчастого вала в зборі (рис. 2).

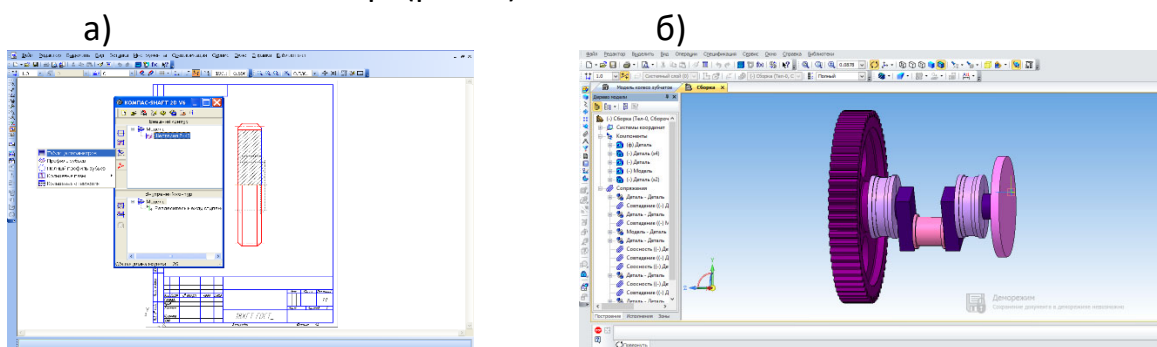


Рисунок 2 – Етап побудови (а) та 3-D модель колінчастого вала в зборі (б)

Для визначення деформацій шатунної шийки колінчастого вала при заданих параметрах навантаження застосуємо метод кінцевих елементів (МКЕ). Всі розрахунки проводяться в програмному середовищі *Ansys*.

Робоче навантаження, що сприймається шатунною шийкою відповідає розрахунковим навантаженням і задається як рівномірно розподілене навантаження по навантаженій частині шатунного вкладиша по компонентах системи координат для забезпечення необхідного вектору сили. Генерування кінцево-елементної сітки виконано автоматично.

На рисунку 3 наведено зображення результатів моделювання НДС колінчастого вала. Для зручності виконання аналізу кольором виділена деформація шийки колінчастого вала, яка нас цікавить, в місці установки шатунного підшипника ковзання. За результатами моделювання очевидно, що максимальний прогин шийки вала в місці установки вкладиша шатунного підшипника ковзання знаходиться в межах, рекомендованих умовами роботи револьверного преса.

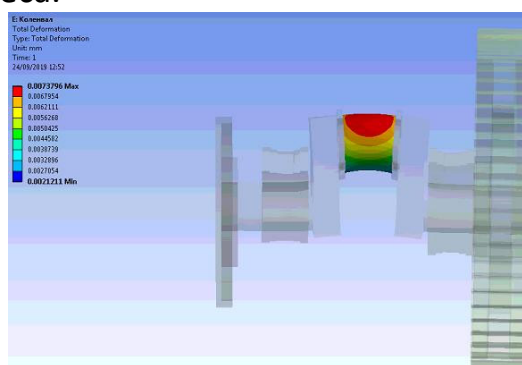


Рисунок 3 – Величина деформації прогину шийки колінчастого валу під шатунним вкладишем підшипника ковзання

За результатами чисельного моделювання отримані величини деформації по всій довжині шийки вала, визначена зона найбільшої деформації. Одержані данні дозволяють виявити основні можливості впливу на параметри фрикційного контакту, коректно обрати фізико-механічні властивості опорної поверхні фрикційної пари підшипника ковзання, технологію виготовлення та контролю показників якості виробу.

Основною причиною виходу з ладу підшипників ковзання є їх зношування, що супроводжується збільшенням зазорів і, отже, падінням несучої здатності. Найбільший знос підшипників ковзання, як показує практика, відбувається в момент пуску і зупинки машин (близько 70 -80% загального зносу).

Вимоги до високої несучої здатності вкладиша підшипника ковзання, а значить, і високої міцності супроводжується одночасно і вимогою до властивостей підшипникових сплавів, які повинні бути досить м'якими, щоб менше зношувалася цапфа вала, що складається з більш жорсткого матеріалу. Тому використаємо біметалічну конструкцію, в якій м'який сплав наноситься на тверду поверхню основи досить тонким шаром. При роботі такої конструкції навантаження в рухомому сполученні сприймається більш твердим матеріалом. Наявність м'якого сплаву у верхньому шарі забезпечує хорошу приробленість.

З огляду на високу приробленість бронз і високі показники фізико-механічних властивостей чавуну, інтерес представляє використання в якості матеріалу підшипників ковзання високоміцних чавунів з нанесенням на поверхню тертя макрошару бронзи. Це можливо здійснити в результаті зниження або регуляризації висотних параметрів шорсткості, збільшення опорної довжини профілю поверхні механічними і електрофізичними методами.

Кожен спосіб зміцнюючої обробки забезпечує індивідуальний діапазон значень параметрів якості поверхневого шару [5]. Проаналізувавши можливості різних способів, для виконання роботи був обраний електроерозійний метод нанесення антифрикційного матеріалу на чавунний вкладиш ЕІЛ (рис. 4).

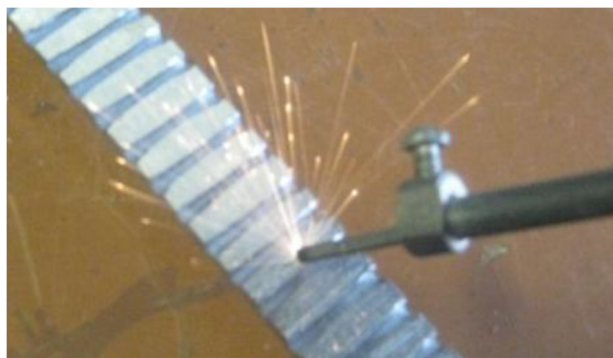


Рисунок 4 – Процес нанесення покриття при ЕІЛ

Поверхневий шар набуває змінену структуру і склад. Виникає дрібнокристалічна структура, утворюються інтерметалліди, нітриди, карбіди і т.д.; внаслідок чого значно підвищується поверхнева твердість. Деталі при цьому виді обробки не піддаються викривленню і не вимагають попереднього нагрівання і наступної термообробки.

Як матеріал електрода застосовувався твердий сплав бронзи БР ОСЦ 6-6-3. Для ЕІЛ використовувалася установка «Елітрон-22А».

**Задача забезпечення показників якості.** Для обраної технології нанесення бронзового покриття на робочу поверхню чавунних вкладишів підшипників ковзання (рис. 5, а) контроль товщини нанесеного покриття проведемо шляхом мікрометрування [6]. Вибираючи метод контролю якості несучого шару, опираємося на критерії надійності (ремонтпридатність) і працездатності (зносостійкість) опорних вузлів пресу, що дозволяють витримувати основні параметри в межах, встановлених вимогами нормативно-технічної документації та необхідних для виконання функціональної задачі.

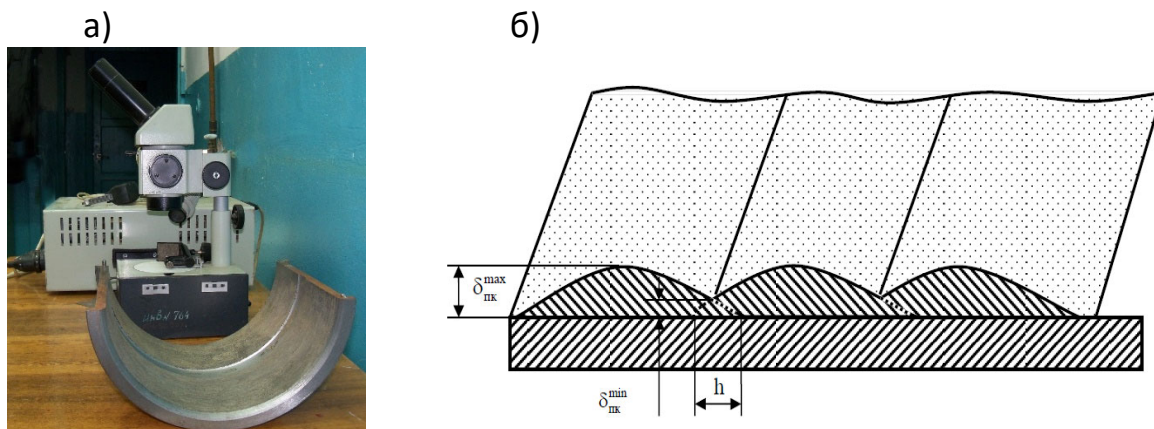


Рисунок 5 – Вкладиш з високоміцного чавуну (а) з нанесеним макрошаром бронзи на робочій поверхні (б)

В результаті процесу ЕІЛ змінений поверхневий шар являє собою сукупність великої кількості лунок (сукупність гребенів і западин), які істотно впливають на параметри шорсткості поверхні (рис. 5, б). Шорсткість утвореної поверхні визначається розмірами і геометрією двох груп нерівностей, які отримані в результаті взаємного перетину лунок, і які утворилися в результаті спотворення профілю лунки.

Засоби вимірювання є основою метрологічного забезпечення вимірювань. Вибір засобів вимірювання, є одним з найбільш важливих параметрів в забезпеченні якісного метрологічного забезпечення вимірювань.

Протягом всього технологічного процесу виготовлення вкладиша і контролю його параметрів використовувалися наступні засоби вимірювань:



штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89 (заготівельна, слюсарна, фрезерна, шліфувальна, контрольна операції) та товщиномір покриттів ТП-1 (нанесення покриття).

Для заданих параметрів вкладиша підшипника ковзання: діаметру, довжині і необхідної точності (з урахуванням отриманих раніше рекомендацій по величині зазору в підшипнику ковзання, а також імовірною приробленістю фрикційної пари: цапфа вала – вкладиш) приймаємо рішення про проведення 30 вимірювань по поверхні півкола вкладиша з кроком вимірювань  $\sim 10$  мм (рис.5, а) [6].

Результатом будь-якого статистичного дослідження є отримання різних статистичних показників, що дозволяють оцінити рівень, варіацію, структуру, взаємозв'язки і динаміку досліджуваних явищ.

За результатами проведених вимірювань визначимо статистичні показники, які адекватно описують отримані значення шорсткостей поверхні вкладиша. Для цього скористаємося програмою *Mathcad* – системою комп'ютерної алгебри з класу систем автоматизованого проектування.

На рис. 6 наведені залежності для функції розподілу (1) і функції ймовірності (2) на зазначеному інтервалі проведених вимірювань шорсткості поверхні вкладиша підшипника ковзання.

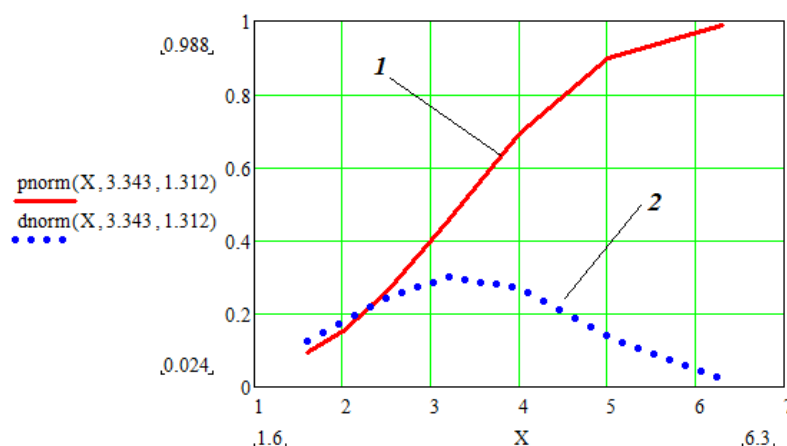


Рисунок 6 – Залежності для функції розподілу (1) і функції ймовірності (2)

Отримані залежності дозволяють кількісно оцінити якість проведених вимірювань при проведенні експериментів і дати рекомендації по їх підвищенню. Так, наприклад, ймовірність попадання показників шорсткості до 5,0 мкм в інтервал значень, отриманих в результаті вимірювань і рекомендованих ГОСТ 2789-73 становить  $p=0,897$ ; ймовірність попадання показників шорсткості від 2,0 мкм становить  $p=0,847$ ; ймовірність попадання показників шорсткості від 2,0 до 5,0 мкм становить  $p=0,744$ . Це свідчить про відповідність одного з контрольованих параметрів отриманого покриття вкладиша (шорсткість) вимогам стандарту і якості проведених вимірювань.

**Висновки.** Проведено аналіз умов експлуатації ланок механічної частини приводу преса револьверного типу, що відрізняються високим зносом в важких режимах роботи. Сучасними засобами САПР були визначені показники якості виробу і етапів технологічного процесу його отримання; обрано метод визначення показників якості, запропоновані засоби вимірювання, що забезпечують задану точність.

На підставі проведених випробувань отримані статистичні показники (математичне очікування, середньоквадратичне відхилення), побудований закон розподілу, що дозволив оцінити якість спроектованого виробу і розробити рекомендації відносно забезпечення показників якості матеріалу поверхневого шару вкладишів опор ковзання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Карасик И.И., Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения. – М.: Наука, 1978.
2. Коровчинский В.И., Теоретические основы работы подшипников скольжения. – М.: Машгиз, 1959.
3. Орлов, П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн./ Под ред. П.Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр. – М.: Машиностроение, 1988.
4. Р. Бюснен Автомобильный справочник. Техн. ред. А.Я. Тихонов, Б.И. Медель // Ленинград 1959, 963 с.
5. Самсонов В.В. и др. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Киев, «Наукова думка», 1976. – 269 с.
6. ГОСТ ИСО 12301-95 Подшипники скольжения. Методы контроля геометрических показателей и показателей качества материалов. – М: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 57 с.

УДК: 372.862

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

С.Д. Карпухин<sup>1</sup>, С.А. Пахомова<sup>2</sup>, М.В. Унчикова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>кандидат технических наук, доцент

e-mail: <sup>1</sup>[dr.mgtu@yandex.ru](mailto:dr.mgtu@yandex.ru), <sup>2</sup>[mgtu2013@yandex.ru](mailto:mgtu2013@yandex.ru), <sup>3</sup>[mgtu-gvi@yandex.ru](mailto:mgtu-gvi@yandex.ru)

<sup>1,2,3</sup>Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, Россия

**Аннотация.** В работе проанализирована существующая методика исследования структуры и свойств высокопрочных никелевых сплавов. Показана важность развития новых методик обучения студентов технических вузов. Рассмотрены требования к лабораторно-практическим работам и оценки их выполнения и защиты. Представлены рекомендации для выполнения практического занятия бакалавра по направлению 22.04.01